

8-7-2020

Group Decision Making Model for Weapon Selection Using Extended VIKOR Method under Intuitionistic Fuzzy Environment

Shanliang Yang

College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

Wang Peng

College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

Li Ge

College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

Kedi Huang

College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Group Decision Making Model for Weapon Selection Using Extended VIKOR Method under Intuitionistic Fuzzy Environment

Abstract

Abstract: With respect to weapon system selection problem, in which attribute weights are completely unknown and attribute values are expressed with linguistic information, a multi-attribute group decision-making method based on extended VIKOR was proposed. *The intuitionistic fuzzy weighted averaging (IFWA) operator was introduced to aggregate all the individual decision-making information in order to obtain the intuitionistic fuzzy decision matrix. The intuitionistic fuzzy entropy method was utilized to obtain the objective weights of evaluation criteria. The alternative weapon systems were ranked according to the basic concept of extended VIKOR method.* A case study of air-to-ground guided missile selection problem for UCAV and a sensitivity analysis were given to verify the feasibility and stability of the proposed model. A comparative analysis with intuitionistic fuzzy TOPSIS method shows the superiority of the proposed method.

Keywords

weapon selection, extended VIKOR method, intuitionistic fuzzy weighted averaging (IFWA) operator, multi-attribute group decisionmaking, intuitionistic fuzzy entropy

Recommended Citation

Yang Shanliang, Wang Peng, Li Ge, Huang Kedi. Group Decision Making Model for Weapon Selection Using Extended VIKOR Method under Intuitionistic Fuzzy Environment[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(9): 2169-2175.

基于直觉模糊 VIKOR 方法的装备优选群决策模型

杨山亮, 王鹏, 李革, 黄柯棣

(国防科技大学信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 针对属性权重完全未知且属性值为语言信息的装备优选与排序问题, 提出了一种基于扩展多准则妥协解排序(VIKOR)的多属性群决策模型。该模型引入直觉模糊加权集结(IFWA)算子对所有个体的决策信息进行集成, 以获取作战指挥员决策群组的直觉模糊决策矩阵。利用直觉模糊数熵权公式对评估属性进行客观赋权, 通过将 VIKOR 法扩展到直觉模糊环境来得到待选装备的折衷可行方案。最后结合作战无人机(UCAV)空地导弹优选实例和灵敏度分析验证了该模型的有效性和稳定性, 并通过与直觉模糊 TOPSIS 法的对比实验表明了所提出方法的优越性。

关键词: 装备优选; 扩展 VIKOR 方法; 直觉模糊加权集结算子; 多属性群决策; 直觉模糊熵

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 09-2169-07

Group Decision Making Model for Weapon Selection Using Extended VIKOR Method under Intuitionistic Fuzzy Environment

Yang Shanliang, Wang Peng, Li Ge, Huang Kedi

(College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: With respect to weapon system selection problem, in which attribute weights are completely unknown and attribute values are expressed with linguistic information, a multi-attribute group decision-making method based on extended VIKOR was proposed. The intuitionistic fuzzy weighted averaging (IFWA) operator was introduced to aggregate all the individual decision-making information in order to obtain the intuitionistic fuzzy decision matrix. The intuitionistic fuzzy entropy method was utilized to obtain the objective weights of evaluation criteria. The alternative weapon systems were ranked according to the basic concept of extended VIKOR method. A case study of air-to-ground guided missile selection problem for UCAV and a sensitivity analysis were given to verify the feasibility and stability of the proposed model. A comparative analysis with intuitionistic fuzzy TOPSIS method shows the superiority of the proposed method.

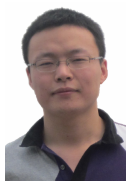
Keywords: weapon selection; extended VIKOR method; intuitionistic fuzzy weighted averaging (IFWA) operator; multi-attribute group decisionmaking; intuitionistic fuzzy entropy

引言

装备优选问题是指在具有相互冲突、不可共度的多性能指标的条件下, 利用已有的决策信息, 通过一定的方式对有限个待选装备进行排序或择优

的过程^[1]。随着武器装备多样化和高技术化程度的不断提高, 装备优选问题在作战方案制定和作战部署等方面逐渐显现出其必要性和重要性, 对装备优选问题的研究也越来越得到国防部门的重视。

装备优选过程需要多个作战指挥员的共同参与, 且需考虑众多评价要素的影响, 其实质是多属性群决策问题的排序择优过程。近年来, 一些学者应用多属性决策方法来解决装备优选问题, 并取得了丰富成果。文献[2]提出了一种基于 AHP 和



收稿日期: 2015-05-05 修回日期: 2015-07-09;
基金项目: 国家自然科学基金项目(61074108;
61374185);
作者简介: 杨山亮(1987-), 男, 山东德州人, 博士生,
研究方向为作战分析仿真与作战决策支持; 黄柯棣
(1940-), 男, 湖南长沙人, 教授, 研究方向为作战分
析仿真。

<http://www.china-simulation.com>

• 2169 •

TOPSIS 法的装备评价模型, 该模型首先利用三角模糊数参数化具有模糊主观偏好的语义信息, 然后采用 AHP 法确定装备优选问题的准则结构, 最后通过模糊 TOPSIS 法获得最终排序结果。文献[3]基于目标规划的混合方法来解决装备优选问题, 首先结合 AHP 和主成分分析法为装备属性分配权重, 然后基于目标规划技术构建武器装备的选择模型。文献[4]利用灰色理论建立了防空导弹武器系统优选模型, 针对专家评分带来的主观性和不确定性, 首先根据灰色理论知识计算各属性指标之间的灰色关联度, 然后使用排序方法对灰色关联度进行排序。文献[5]则利用 ELECTRE 法解决了电子对抗装备优选问题。

从上述具有代表性的文献来看, 虽然现有方法对装备评价与优选已经做了深入研究并取得了一定成果, 但仍然存在一些局限性: (1) 决策主体只包含单一决策者, 而在实际作战过程中, 为了体现决策的合理性和科学性, 需要多个指挥员共同参与进行决策, 从而充分体现群体智慧; (2) 需要指挥员给出属性评价值的精确值或取值范围, 在权重信息完全已知或部分已知的理想条件下进行, 然而指挥员在对待选装备进行评价判断时更倾向于用自然语言(如: 好、一般、差)的形式来表达自己的偏好, 因此决策信息中包含一定的模糊性和不确定性。为此, 本文针对属性权重完全未知且属性值为语言信息的装备优选与排序问题, 提出了一种基于扩展 VIKOR 法的多属性群决策模型, 并通过实例、灵敏度分析和对比分析表明了该方法的实用性和可行性。

1 直觉模糊集基本理论

1.1 直觉模糊数的定义

定义 1 设 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为非空有限论域, 则 X 上的直觉模糊集可以定义为^[6]

$$A = \{\langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in X\} \quad (1)$$

其中, $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ 和 $\nu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ 分别表

示 X 中的元素 x 对集合 A 的隶属度和非隶属度, 且满足条件 $0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1, x \in X$ 。对于任意 $x \in X$, $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$ 表示 X 中的元素 x 属于 A 的犹豫度或不确定度, 且 $0 \leq \pi_A(x) \leq 1$ 。若 $\pi_A(x) = 0, x \in X$, 则 A 退化为传统的 Zadeh 模糊集。

为了方便起见, 称 $\alpha = (\mu_\alpha, \nu_\alpha, \pi_\alpha)$ 为直觉模糊数, 其中 $\mu_\alpha \in [0,1]$, $\nu_\alpha \in [0,1]$, $\mu_\alpha + \nu_\alpha \leq 1$, $\pi_\alpha = 1 - \mu_\alpha - \nu_\alpha$ 。显然, $\alpha^+ = (1, 0, 0)$ 和 $\alpha^- = (0, 1, 0)$ 分别为最大直觉模糊数和最小直觉模糊数。

1.2 直觉模糊数的运算关系

定义 2 设 $\alpha = (\mu_\alpha, \nu_\alpha, \pi_\alpha)$ 和 $\beta = (\mu_\beta, \nu_\beta, \pi_\beta)$ 为两个任意的直觉模糊数, λ 为任意的正实数, 则直觉模糊数的基本运算法则有

$$(1) \alpha \oplus \beta = (\mu_\alpha + \mu_\beta - \mu_\alpha \mu_\beta, \nu_\alpha \nu_\beta)$$

$$(2) \alpha \otimes \beta = (\mu_\alpha \mu_\beta, \nu_\alpha + \nu_\beta - \nu_\alpha \nu_\beta)$$

$$(3) \lambda \alpha = (1 - (1 - \mu_\alpha)^\lambda, \nu_\alpha^\lambda)$$

$$(4) \alpha^\lambda = (\mu_\alpha^\lambda, 1 - (1 - \nu_\alpha)^\lambda)$$

其中犹豫度 π 的值可通过公式 $\pi = 1 - \mu - \nu$ 计算得到。

定义 3 设 $\alpha_j (j=1, 2, \dots, n)$ 为一组直觉模糊数, 则直觉模糊加权集结算子可定义为^[7]

$$\begin{aligned} IFWA_w(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \\ w_1 \alpha_1 \oplus w_2 \alpha_2 \oplus \dots \oplus w_n \alpha_n = \\ \left(1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_j)^{w_j}, \prod_{j=1}^n \nu_j^{w_j} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

其中: $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 为 $\alpha_j (j=1, 2, \dots, n)$ 的权重向量, 满足条件 $w_j \in [0,1], \sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。

1.3 直觉模糊数的距离测度

定义 4 设 $\alpha = (\mu_\alpha, \nu_\alpha, \pi_\alpha)$ 和 $\beta = (\mu_\beta, \nu_\beta, \pi_\beta)$ 为任意的两个直觉模糊数, 则 α 和 β 之间的海明距离为^[8]

$$\begin{aligned} d(\alpha, \beta) = \\ \frac{1}{2} (|\mu_\alpha - \mu_\beta| + |\nu_\alpha - \nu_\beta| + |\pi_\alpha - \pi_\beta|) \end{aligned} \quad (3)$$

2 基于直觉模糊 VIKOR 方法的武器装备优选模型

VIKOR 方法是由 Opricovic 等提出的一种基于理想法的折衷排序法, 它通过最大化群体效用和最小化个体遗憾来实现对有限决策方案的优选排序^[9]。本文将传统 VIKOR 方法扩展到直觉模糊环境下, 结合直觉模糊的相关理论应用扩展的 VIKOR 方法求解装备评估优选问题, 为解决装备指挥决策问题提供了一个科学合理的决策框架。提出的装备群决策模型从作战指挥员原始评价信息出发, 通过直觉模糊合成算子对数据进行集结, 得到所有作战指挥员的综合评价信息; 然后利用直觉模糊熵方法确定各评估属性的客观权重; 最后采用直觉模糊 VIKOR 方法对候选装备进行择优排序, 并对决策方法进行灵敏度分析和对比分析。

对于直觉模糊环境下的装备优选群决策问题, 设 $E = \{E_1, E_2, \dots, E_k\}$ 为指挥员集合, 其中 E_t 表示第 t 个作战指挥员, 指挥员的权重信息为 $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k)$, 本文假设每个指挥员的权重相等, 即 $\lambda_t = 1/k, t = 1, 2, \dots, k$; $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ 为待选装备集, 其中 A_i 表示第 i 个待选装备, $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 为属性集, 其中 X_j 表示第 j 个决策属性, 属性权重信息 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 是完全未知的, 但满足 $w_j \geq 0, \sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。直觉模糊环境下基于扩展 VIKOR 方法的装备优选方法具体步骤如下:

步骤 1 作战指挥员的群组集合根据预定义的语言变量对待选装备给出各自的评价信息。作战指挥员利用熟悉简单的语言变量对待选装备进行定性判断, 更符合指挥员的主观意愿和指挥习惯。语言变量类型的数据通常采用转化的方式进行处理, 本文将语义评价信息转化为直觉模糊数, 其变量标度和相对应的直觉模糊数如表 1 所示。

表 1 语言变量与直觉模糊数的对应关系^[10]

语言变量	标记	直觉模糊数
极差	EP(Extreme Poor)	(0.05,0.95,0.00)
非常差	VP(Very Poor)	(0.15,0.80,0.05)
差	P(Poor)	(0.25,0.65,0.10)
偏差	MP(Medium Poor)	(0.35,0.55,0.10)
中等	M(Medium)	(0.50,0.40,0.10)
偏好	MG(Medium Good)	(0.65,0.25,0.10)
好	G(Good)	(0.75,0.15,0.10)
非常好	VG(Very Good)	(0.85,0.10,0.05)
极好	EG(Extreme Good)	(0.95,0.05,0.00)

假设作战指挥员 $E_t (t = 1, 2, \dots, k)$ 对待选装备 A_i 在属性 X_j 上的评价价值转化为直觉模糊数为 $x_{ij}^{(t)} = (\mu_{ij}^{(t)}, \nu_{ij}^{(t)}, \pi_{ij}^{(t)})$, 则第 t 个指挥员给出的评价信息可表示为

$$D^{(t)} = \begin{bmatrix} x_{11}^{(t)} & x_{12}^{(t)} & \dots & x_{1n}^{(t)} \\ x_{21}^{(t)} & x_{22}^{(t)} & \dots & x_{2n}^{(t)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1}^{(t)} & x_{m2}^{(t)} & \dots & x_{mn}^{(t)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

步骤 2 利用式(2)中的直觉模糊加权集结算子对所有作战指挥员的评价信息进行合成, 构建装备优选问题的直觉模糊决策矩阵:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: $x_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij}, \pi_{ij})$, $\mu_{ij} = 1 - \prod_{t=1}^k (1 - \mu_{ij}^{(t)})^{\lambda_t}$, $\nu_{ij} = \prod_{t=1}^k ((\nu_{ij}^{(t)})^{\lambda_t})$, $\pi_{ij} = 1 - \mu_{ij} - \nu_{ij}$ 。

步骤 3 采用直觉模糊熵方法计算各评价属性的客观权重。直觉模糊熵用来刻画直觉模糊集的不确定程度和未知程度, 利用直觉模糊熵公式确定权重能够更准确更客观的反映评价属性的重要程度。评价属性 X_j 下的直觉模糊熵为^[11]

$$H_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1 - |\mu_{ij} - \nu_{ij}|^2 + \pi_{ij}^2}{2} \quad (6)$$

则评价属性 X_j 的客观熵权可以定义为

$$w_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j} \quad (7)$$

所有评价属性的熵权满足约束条件 $w_j \geq 0, j=1, 2, \dots, n, \sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。如果所有待选装备在属性 X_j 下的集成评价值与评价值均值的偏差越小, 则说明该评价属性对待选装备排序择优的作用越小, 反之则作用越大。因此, 从对待选装备进行排序择优的角度考虑, 待选装备评价值与均值偏差越大的属性应该赋予更大的权重, 直觉模糊熵赋权法就是基于此原理对评价属性进行赋权操作。

步骤 4 确定直觉模糊正理想方案 A^+ 和直觉模糊负理想方案 A^- 。

$$A^+ = \{x_1^+, x_2^+, \dots, x_j^+, \dots, x_n^+\} = \{(1, 0, 0), (1, 0, 0), \dots, (1, 0, 0)\} \quad (8)$$

$$A^- = \{x_1^-, x_2^-, \dots, x_j^-, \dots, x_n^-\} = \{(0, 1, 0), (0, 1, 0), \dots, (0, 1, 0)\} \quad (9)$$

传统 VIKOR 算法中, 每个待选方案的正理想方案和负理想方案一般是取自同一评价属性下各个待选方案中评价的最大值和最小值。本文采用最大直觉模糊数和最小直觉模糊数来表示直觉模糊正负理想方案。

步骤 5 分别计算直觉模糊环境下各待选装备的群体效用值 S_i 和个体遗憾值 R_i

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \left(\frac{x_j^+ - x_{ij}}{x_j^+ - x_j^-} \right) = \sum_{j=1}^n w_j \left(\frac{d(x_j^+, x_{ij})}{d(x_j^+, x_j^-)} \right) \quad (10)$$

$$R_i = \max_j w_j \left(\frac{x_j^+ - x_{ij}}{x_j^+ - x_j^-} \right) = \max_j w_j \left(\frac{d(x_j^+, x_{ij})}{d(x_j^+, x_j^-)} \right) \quad (11)$$

式中 w_j 由步骤 3 中的直觉模糊熵方法得到, 可见本文中装备评价属性的客观权重都为清晰数。

步骤 6 综合考虑最大化群体效用和最小化个体遗憾的基础上, 计算各待选装备的折衷评价值。

$$Q_i = \nu \left(\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right) + (1 - \nu) \left(\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right) \quad (12)$$

式中 $S^- = \max_i S_i, S^* = \min_i S_i, R^- = \max_i R_i, R^* = \min_i R_i$ 。 $\nu \in [0, 1]$ 称为最大群体效用权重或决策机制系数, $\nu > 0.5$ 表示根据最大化群体效用的决策机制来选择装备; $\nu < 0.5$ 表示根据最小化个体遗憾的决策机制进行决策; $\nu = 0.5$ 则表示根据均

衡折衷的方式进行决策。本文提出的装备优选直觉模糊 VIKOR 方法中, 设定 $\nu = 0.5$, 即以决策者协商达成共识的机制选择最优装备。

步骤 7 待选装备排序并确定最终决策方案。

将待选装备按照 S_i, R_i 和 Q_i 数值大小进行升序排列, 得到三组排序 $S_{[1]}, R_{[1]}$ 和 $Q_{[1]}$, 然后根据以下两个判准则来进行装备优选决策。对于在 $Q_{[1]}$ 中排序第一的待选装备, 如果同时满足两个判断条件则被视为最佳折衷决策结果^[12]。

(1) 可接受优势准则

$$Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) \geq \frac{1}{m-1} \quad (13)$$

式中: $A^{(1)}$ 和 $A^{(2)}$ 分别表示序列 $Q_{[1]}$ 中排序第一和第二的待选装备, m 是所有待选装备的数目, 并且有 $m \leq 4$ 时, 取 $1/(m-1) = 1/4$ 。

(2) 可接受稳定性准则

如果待选装备 $A^{(1)}$ 在序列 $S_{[1]}$ 或 $R_{[1]}$ 中也是排序第一, 则说明 $A^{(1)}$ 在决策过程中是稳定的。

如果不能同时满足可接受优势准则和可接受稳定性准则, 说明有多个待选装备的综合评价值及其接近, 将得到一组折衷装备集, 具体情况为: (a) 如果仅仅不满足可接受稳定性准则, 则 $A^{(1)}$ 和 $A^{(2)}$ 皆为最优决策结果; (b) 如果不满足可接受优势准则, 则得到一组折衷装备集 $A = \{A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(U)}\}$, U 的最大值由公式 $Q(A^{(U)}) - Q(A^{(1)}) < 1/(m-1)$ 确定, 这些装备在序列 $Q_{[1]}$ 中是临近排列的, 都贴近理想的最优装备。

3 实例分析

本章以作战无人机(Unmanned Combat Aerial Vehicle, UCAV)空地导弹评估与优选问题为例, 来进一步阐明本文所提出的基于直觉模糊 VIKOR 方法的装备优选群决策模型。

作战无人机的武器挂载方案对无人机的作战效能具有重要影响, 空地导弹作为无人挂载武器的重要组成部分, 具有机动性好、精度高和附带损伤小等优势条件。但受无人挂载能力的制约, 只能携

带一定数量的空地导弹对敌目标进行打击。因此, 本实例设定的作战理想为: 为了达到预定的战术目的, 派遣一架作战无人机挂载某型号空地导弹对指定区域内的敌时敏目标进行打击, 现有 4 种不同型

号的空地导弹 $A_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 可供选择, 如表 2 所示。由 3 名作战指挥员 $E_t (t = 1, 2, 3)$ 构成联合指挥小组, 通过对待选空地导弹的排序和优选过程, 确定最终挂载方案从而取得最佳打击效果。

表 2 UCAV 空地导弹战技性能指标^[13]

型号	弹长/m	质量/kg	射程/km	战斗部类型	制导方式
Griffin	1.09	15	13	高爆/破片	半主动激光
LMM	1.3	13	6~8	高爆/破片或成型装药	激光驾束制导
Impi	1.6	25	10	多用途	半主动激光
JAGM	2.1	50	9	多模聚能/破片	毫米波/半主动激光

3.1 装备排序优选

在 UCAV 空地导弹优选决策模型中, 制定了下列 5 项评估属性: 战斗部威力 (X_1)、抗干扰能力 (X_2)、机动性能 (X_3)、环境适应能力 (X_4)、突防能力 (X_5)。联合指挥小组中的 3 名作战指挥员首先根据表 1 中的语言变量对 4 种型号空地导弹的各项属性进行评价, 评价信息如表 3~5 所示。

表 3 第 1 名指挥员对 UCAV 空地导弹的评价信息

型号	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Griffin	P	MG	MG	G	MG
LMM	MG	G	VP	P	VG
Impi	G	VP	MG	G	M
JAGM	EG	MG	VP	G	M

表 4 第 2 名指挥员对 UCAV 空地导弹的评价信息

型号	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Griffin	MP	G	MG	MG	M
LMM	MG	MG	P	M	MG
Impi	MG	P	VG	MG	M
JAGM	MG	P	VG	MG	M

表 5 第 3 名指挥员对 UCAV 空地导弹的评价信息

型号	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Griffin	VP	M	G	MG	VG
LMM	VG	MG	MP	M	MG
Impi	MG	MP	G	MG	MP
JAGM	G	MG	P	M	MG

然后将作战指挥员的语言评价信息转化为直觉模糊决策矩阵 $D^{(t)} (t = 1, 2, 3)$, 再利用 IFWA 直觉模糊加权集结算子把 $D^{(t)} (t = 1, 2, 3)$ 集成为综合的直觉模糊决策矩阵 D 。

$$D = \begin{bmatrix} (0.25, 0.66, 0.09) & (0.65, 0.25, 0.11) & (0.69, 0.21, 0.10) & (0.69, 0.21, 0.10) & (0.70, 0.22, 0.08) \\ (0.74, 0.18, 0.08) & (0.69, 0.21, 0.10) & (0.25, 0.66, 0.09) & (0.43, 0.47, 0.10) & (0.74, 0.18, 0.08) \\ (0.69, 0.21, 0.10) & (0.25, 0.66, 0.09) & (0.76, 0.16, 0.08) & (0.69, 0.21, 0.10) & (0.45, 0.44, 0.10) \\ (0.88, 0.09, 0.03) & (0.61, 0.29, 0.10) & (0.25, 0.66, 0.09) & (0.69, 0.21, 0.11) & (0.52, 0.38, 0.10) \end{bmatrix}$$

根据式(6)-(7)确定各评估属性的直觉模糊熵权, 得

$$w_1 = 0.2207, w_2 = 0.1924, w_3 = 0.2042, w_4 = 0.1937, w_5 = 0.1889$$

确定各项评价指标的直觉模糊熵权之后, 就可以进一步进行 UCAV 空地导弹的评价排序, 即应用直觉模糊 VIKOR 方法选择执行打击任务的最佳装备。确定直觉模糊正理想方案和负理想方案

分别为

$$A^+ = \{(1, 0, 0), (1, 0, 0), (1, 0, 0), (1, 0, 0), (1, 0, 0)\}$$

$$A^- = \{(0, 1, 0), (0, 1, 0), (0, 1, 0), (0, 1, 0), (0, 1, 0)\}$$

由直觉模糊距离测度公式(3)结合式(10)-(11), 计算各待选装备的群体效用值 S_i 和个体遗憾值 R_i , 然后令 $v = 0.5$, 根据式(12)计算各待选装备的折衷评价价值 Q_i , 结果列于表 6 中。

表 6 UCAV 待选空地导弹的 S, R 和 Q 值

数值	Griffin	LMM	Impi	JAGM
S	0.4130	0.4314	0.4244	0.4079
R	0.1645	0.1523	0.1435	0.1523
Q	0.6085	0.7086	0.3507	0.2086

由表 6 可知, 根据折衷评价价值 Q_i 的大小得到各待选 UCAV 空地导弹的优先序为 $JAGM > Impi > Griffin > LMM$ 。其中 Q_i 值最小的为 $JAGM$ 型空地导弹, 判定所选的装备是否满足可接受优势准则和可接受稳定性准则。由表 6 知 $JAGM$ 型空地导弹在序列 $S_{[1]}$ 中排名也为第一, 因此满足可接受的决策稳定性条件。然而 $Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) = 0.3507 - 0.2086 = 0.1421 < 0.25$, 这意味着可接受的优势条件不满足, 因此得到一组折衷装备集。由 $Q(A^{(3)}) - Q(A^{(1)}) = 0.6085 - 0.2086 = 0.3999 \geq 0.25$, 可确定 $U=2$, 最终得到折衷的 UCAV 空地导弹优选集合为 $\{JAGM, Impi\}$ 。

3.2 灵敏度分析

在直觉模糊 VIKOR 方法中, 最大群体效用权重 ν 对待选装备的优选排序结果有着重要的影响作用。为了考察 ν 不同取值变化对评价结果的影响程度, 本节通过设置不同的 ν 值来进行灵敏度分析, 观察折衷方案的选择变化情况。需要注意的是, 为了实现对所有待选装备的全排序, 本节和下节的对比分析都直接利用 $Q_{[1]}$ 序列进行排序, Q_i 值越小, 则排名越靠前。把 ν 从区间 $[0, 1]$ 间隔 0.1 进行取值, 共进行 11 次实验, 得到如图 1~2 所示的灵敏度分析结果。

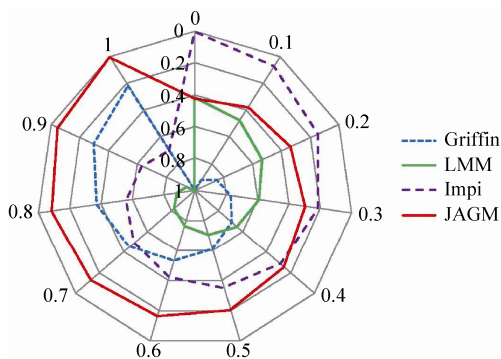


图 1 UCAV 空地导弹折衷评价价值 Q_i 变化情况

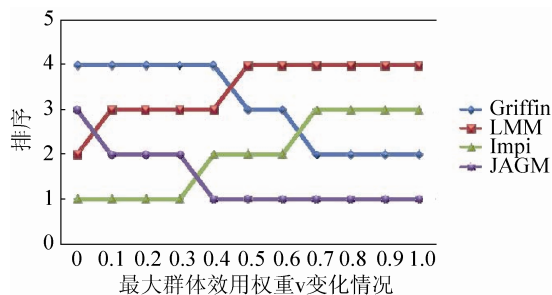


图 2 UCAV 空地导弹排序变化情况 ($\nu \in [0, 1]$)

由图 1 和图 2 中的灵敏度分析结果可知, $Impi$ 空地导弹在 $\nu \leq 0.3$ 时的 Q_i 值最小, 表现最优; 而 $JAGM$ 空地导弹在 $\nu \geq 0.4$ 时 Q_i 值最小, 可视为最佳待选装备。分析结果一方面验证了装备排序结果对决策机制系数 ν 的敏感性, 另一方面也证明评价结果具有一定的稳定性, 进一步说明本文装备决策模型是有效的。

3.3 TOPSIS 法对比分析

为了对比算法的有效性和可行性, 采用直觉模糊 TOPSIS(逼近理想点)方法对实例分析中决策矩阵的数据进行决策, 并与利用本文提出的直觉模糊 VIKOR 方法得到的决策结果进行对比分析。在直觉模糊 TOPSIS 方法中, 利用各待选装备与理想方案的相对贴近度 $C_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-)$ 对候选装备进行排序, C_i 值越大则说明越靠近理想方案, 其中 D_i^+ 为待选装备 A_i 与正理想方案 A^+ 的加权欧几里得距离, D_i^- 为待选装备 A_i 与负理想方案 A^- 的加权欧几里得距离^[14]。应用直觉模糊 TOPSIS 法和 VIKOR 法得到的装备评价和排序结果如表 7 和图 3 所示。

对比直觉模糊 TOPSIS 法和 VIKOR 法的决策结果可知, 这两种方法得到的 UCAV 装备排序结果完全一致, 最优空地导弹都为 $JAGM$, 从而验证了本文方法的有效性。

表 7 直觉模糊 TOPSIS 和 VIKOR 法评价结果

型号	直觉模糊 TOPSIS 法		直觉模糊 VIKOR 法	
	评价价值 C_i	排序	评价价值 Q_i	排序
Griffin	0.2185	3	0.6085	3
LMM	0.2157	4	0.7086	4
Impi	0.2205	2	0.3507	2
JAGM	0.2343	1	0.2086	1

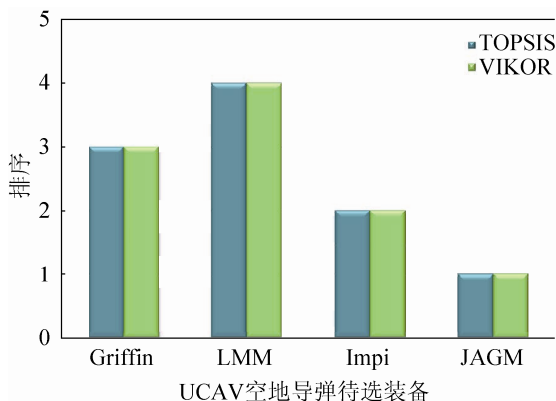


图 3 直觉模糊 TOPSIS 与 VIKOR 方法排序结果

另外采用直觉模糊 TOPSIS 法得出的相对贴近度值都很接近, 而 VIKOR 法相对来说其折衷度评价价值的辨识度更高, 能够更显著的区分各装备的性能, 为作战指挥员提供更为合理和可靠的评价信息。此外, 从直觉模糊 VIKOR 法的灵敏度分析可知, 设置不同的决策机制系数 ν 可能得到不同的决策结果, 这是因为 VIKOR 法还考虑了群体效益和个别遗憾的相互妥协关系, 说明采用直觉模糊 VIKOR 法进行装备决策具有更大的灵活性。

4 结论

针对指挥员评价信息为语言信息的装备优选与排序问题, 结合 VIKOR 方法的思想, 本文提出了一种直觉模糊环境下装备优选的多属性群决策方法。使用直觉模糊集理论处理语言评价信息, 可有效避免信息丢失, 是决策结果更加合理可靠。本文详细讨论了其实现的原理和步骤, 最后结合 UCAV 空地导弹优选实例证明了决策方法的有效性和可行性, 其灵敏度分析结果也表明所提出的决策方法的稳定性比较好, 本文还将所提出的方法与直觉模糊 TOPSIS 法进行了对比分析, 其结果表明: 使用 VIKOR 方法, 可有效克服 TOPSIS 法不能反映出各方案与正负理想方案的接近程度的不足, 而且在决策过程中可以融入决策者的主观偏好, 通过最大化群体效用和最小化个体遗憾来获得折衷方案。该决策模型易于实现, 操作性强, 为解决装备优选问题提供了一种相对可行的决策方法。

本文研究的对象为不确定环境下的单个装备

优选排序问题, 而随着联合作战和体系对抗逐渐成为信息化条件下战争的基本形式, 在武器装备运用中需要组合选择和规划多类型、多型号的武器装备单元, 并确定其运用时间和数量, 从而向战场最大化投递作战能力。因此, 未来的研究工作将集中于装备运用的组合规划和优化问题, 并计划采用多目标智能优化算法解决此类问题。

参考文献:

- [1] 刘明星. 基于多属性决策的海洋环境下装备优选方法研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2009.
- [2] Dagdeviren M, Yavuz S, Kilin N. Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment [J]. *Expert Systems with Applications*(S0957-4174), 2009, 36(3): 8143-8151.
- [3] Lee J, Kang S, Rosenberger J, et al. A hybrid approach of goal programming for weapon systems selection [J]. *Computers & Industrial Engineering* (S0360-8352), 2010, 58(2): 521-527.
- [4] 陶英歌, 罗红英. 基于灰色理论的防空导弹武器系统优选模型 [J]. *装备指挥技术学院学报*, 2006, 17(5): 115-117.
- [5] 徐明德, 黄振和, 汪俊良. 电子对抗装备体系多目标决策 ELECTRE 优选模型 [J]. *舰船电子工程*, 2005, 25(6): 11-13.
- [6] 袁宇, 关涛, 闫相斌, 等. 基于混合 VIKOR 方法的供应商选择决策模型 [J]. *控制与决策*, 2014, 29(3): 551-560.
- [7] 张市芳. 直觉模糊多属性群决策的 VIKOR 方法 [J]. *西安工业大学学报*, 2015, 35(3): 182-185.
- [8] 刘守生, 许大伟, 白崧廷. 权重为直觉模糊数的直觉模糊多属性群决策方法 [J]. *数学的实践与认识*, 2014, 44(24): 213-219.
- [9] 胡芳, 刘志华, 李树丞. 基于熵权法和 VIKOR 法的公共工程项目风险评价研究 [J]. *湖南大学学报(自然科学版)*, 2012, 39(4): 83-86.
- [10] 张震, 郭崇慧. 一种基于二元语义信息处理的多属性群决策方法 [J]. *控制与决策*, 2011, 26(12): 1881-1885.
- [11] 高明美, 孙涛, 朱建军. 一种改进的直觉模糊熵公理化定义和构造公式 [J]. *控制与决策*, 2014, 29(3): 470-474.
- [12] 林晓华, 冯毅雄, 谭建荣, 等. 基于改进 DEMATEL-VIKOR 混合模型的产品概念方案评价 [J]. *计算机集成制造系统*, 2011, 17(12): 2552-2561.
- [13] 张翼麟, 蒋琪, 文苏丽, 等. 国外无人机电空地导弹发展现状及性能分析 [J]. *战术导弹技术*, 2013, (5): 16-19.
- [14] 刘亚丽, 张元鑫, 李红波. 项目投资决策信息不完全直觉模糊的 TOPSIS 法 [J]. *昆明理工大学学报(自然科学版)*, 2015, 40(1): 101-106.